Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Einwirkung strömender Elektricität auf die Bewegung des Protoplasma, auf den lebendigen und todten Zelleninhalt, sowie auf materielle Theilchen überhaupt.

Von Dr. **Wilhelm Velten.**

(Mit 1 Tafel.)

Einleitung.

Im Jahre 1872 war ich in der angenehmen Lage, eine Anzahl elektrischer Apparate des unter Herrn Professor Jolly stehenden k. physikalischen Universitätscabinetes in München zu meinen Zwecken benützen zu dürfen. Es war mir dies von besonderem Werthe, nachdem meine zuvor im pflanzenphysiologischen Institute des Herrn Professors Nägeli ebendortselbst unternommenen Untersuchungen über das Protoplasma nach der elektrischen Seite hin eine fühlbare Lücke aufwiesen.

Bei dem Studium der Mechanik der Protoplasmabewegungen und verschiedenartiger Einwirkungen auf dieselben [1], die elektrischen ausgenommen, hatten sich eine Menge von Fragen aufgedrängt, die mir bei dem dermaligen Standpunkte der Wissenschaft unlösbar erschienen. Stets war es wünschbar, auch nur etwas Bestimmteres über die Ursache der Bewegung zu wissen,

---

[1] Velten:

1. Über die Verbreitung der Protoplasmabewegungen im Pflanzenreiche. Botanische Zeitung. 1872. Nr. 36.
2. Bewegung und Bau des Protoplasma. Regensburger Flora. 1873.
3. Activ oder Passiv? Österreichische botanische Zeitschrift. 1876. Nr. 3.
4. Einwirkung der Temperatur auf die Protoplasmabewegung. Regensburger Flora. 1876. 12—14.
5. Die physikalische Beschaffenheit des pflanzlichen Protoplasma. Sitzungsberichte der Wiener Akad. d. Wiss. Nat. math. Cl. 1876.
6. Über die wahre Pflanzenelektricität. Botanische Zeitung. 1876. Nr. 18, 19.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

auf welche man aus den gegebenen Erscheinungen nur sehr unsicher schliessen konnte. Wir müssen offen bekennen, dass wir über das Wesen der sogenannten Strömungen nichts Sicheres wissen, dass die verschiedenen Erklärungsweisen sich sämmtlich nicht weiter als über den Rang einer blossen Meinung erheben.

Nach den mancherlei Beobachtungen, welche ich zu machen Gelegenheit hatte, schien mir der einzige Weg noch, der Frage nach der Causalität der Protoplasmabewegungen näher zu kommen, die Beziehung der Elektricität zu den Bewegungserscheinungen zu erforschen. Die Resultate der in letzterer Beziehung unternommenen Versuche haben in mir die Hoffnung erweckt, dass der von mir eingeschlagene Weg noch eine positive und zweifellose Antwort bringen wird, und zwar in dem Sinne, dass die Ursache eine elektrische sei. — Vermuthet wurde übrigens eine solche schon seit langer Zeit; schon Amici, Becquerel und Andere geben sich derartigen Betrachtungen hin. Diesen Vermuthungen fehlt aber insgesammt jede annehmbare Begründung.

Die Anhaltspunkte, die ich hatte, um experimentell über die Möglichkeit oder Unmöglichkeit zu entscheiden, eine Erklärung in dieser Richtung zu suchen, waren folgende:

Erstens sind für die Pflanzen gesetzmässige elektrische Ströme, die ihnen als solchen zukommen, nachgewiesen [1]. Eine nähere Beziehung der elektromotorischen Eigenschaften zu den

---

[1] Ranke zeigte dies zuerst; ich habe dessen Beobachtungen für richtig erkannt. Beim Enthäuten von Pflanzentheilen wird ein gesetzmässiger elektrischer Strom sichtbar, welcher im Schliessungsdrahte vom Querschnitt zum künstlichen Längsschnitt verläuft, der sich also gerade umgekehrt verhält wie der Muskel- und Nervenstrom. Wird vor dem Versuch die Epidermis nicht entfernt, so bleibt der wahre Pflanzenstrom verdeckt, weil die Epidermis dem elektrischen Strome einen zu grossen Widerstand bietet (es ist noch nicht festgestellt, ob dieser grosse Widerstand vielleicht nur lediglich der Cuticula zukömmt); in diesem Falle treten dann unregelmässige, oft auch geradezu entgegengesetzte Ströme auf, welch' letztere auf das positive Verhalten der feuchten Pflanzenoberfläche gegen den sauren Zellsaft zu setzen sind.

Ranke: Untersuchungen über Pflanzenelektricität. Sitzungsberichte der k. phys. math. Cl. d. Münchner Akad. d. Wissenschaften. 1872. — Velten: Über die wahre Pflanzenelektricität. Botanische Zeitung. 1876.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Protoplasmabewegungen war bis jetzt zwar nach meinen Beobachtungen nicht aufzufinden. Stromlose Präparate von Vallisneriablättern, deren Protoplasma und Chlorophyllkörner sich in Ruhe befanden, blieben stromlos, als ich künstlich die Bewegung des Zelleninhaltes hervorrief. Die elektrischen Ströme traten erst weit später auf, als die Protoplasmabewegung bereits in vollem Gange war [1]. Thatsache ist es aber wenigstens, dass elektrische Ströme vorhanden sind, die die Ursache für die Bewegungen abgeben können; in dem letzteren Falle können sie zu schwach sein, um äusserlich wahrgenommen zu werden, oder sie können in irgend einer Weise verdeckt sein.

Zweitens beobachtet man Protoplasmaströme bei starken Vergrösserungen und starker Beleuchtung, am besten in diesem Falle Lampenbeleuchtung, so sieht man wie die kleinen im Protoplasma enthaltenen Körnchen sich anziehen und alsbald wiederum abstossen, dieses Spiel unter Umständen einige Mal wiederholend. Kommen einmal zwei solcher Körnchen in eine gewisse nahe Entfernung, so wollen sie bei ihrem Weiterziehen nicht mehr von einander weichen; sie zerren sich gewissermassen hin und her; erst wenn ihre gegenseitige Entfernung verschwindend klein geworden ist, geschieht die Vereinigung mit einem Rucke; sie gehen dann verbunden weiter, bis sie sogleich oder erst später sich plötzlich wiederum abstossen. Man wird hierbei unwillkürlich an das Experiment mit den Hollundermarkkügelchen erinnert. Ertheilen wir einem Hollundermarkkügelchen *a* Elektricität und nähern wir ein zweites Kügelchen *b*, welches die Elektricität Null besitzt, so wird *b* von *a* angezogen; sobald sie sich berührt haben, stossen sie sich wieder ab. Ist *a* positivelektrisch gemacht worden, *b* negativ, so ziehen sie sich auf's lebhafteste an. Das plötzliche Anziehen und Abstossen finden wir bei unsern Protoplasmakörnchen, wenn wir sie ruhig mit dem Mikroskop betrachten, so häufig, dass wir uns nicht erwehren können, vorläufig eine Parallele zwischen elektrischen Erscheinungen und diesen zu ziehen, denn es ist eines der charakteristischsten Merkmale des elektrischen Zustandes, dass zwei Körper, die sich anziehen, nach ihrer Berührung wiederum ab-

[1] Botanische Zeitung. 1876

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

stossen. Da wo Chlorophyllkörner während der Bewegung mit Protoplasmakörnchen zusammenkommen, sieht man etwas Ähnliches. Für diesbezügliche Beobachtungen empfehlen sich Zellen, beispielsweise der Vallisneria oder Elodeablätter. Fixirt man Elodeablattzellen, an deren oberer Wand einzelne Plasmapartien mit Chlorophyllkörnern herüber- oder hinüberwandern, so ist es deutlich zu sehen, dass die Chlorophyllkörner eine merklich geringere Geschwindigkeit besitzen, als die grössere Masse des umgebenden Protoplasma. Unter dem langsameren Fortschreiten der Körner, die sich immer mehr in der Mitte des Strombettes halten, leidet aber auch die die Körner direct umgebende Plasmamasse. Daher finden wir das überraschende Factum, dass das Protoplasma am Rande der Ströme rascher vorwärts geht, als in der Mitte derselben. Kommt nun ein Körnchen in die Nähe eines Chlorophyllkornes, so übt das letztere eine kräftige Anziehung auf dasselbe aus; ist die Anziehung so stark, dass ein Contact beider stattfindet, so bleibt das Körnchen gewöhnlich lange mit dem Korn in directer oder wenigstens sehr naher Berührung, dieses dann begleitend. Es ist für mich kein Zweifel mehr, dass bei allen protoplasmatischen Bewegungen, selbst bei der Rotation — dem scheinbar einfachsten Falle — sich Anziehungen und Abstossungen der Theilchen untereinander geltend machen, wie sie nur mit elektrischen Kraftäusserungen einen erträglichen Vergleich zulassen.

Drittens wandern, nach den Untersuchungen Quinke's [1], namentlich durch den directen Einfluss elektrischer Ströme je nach der Beschaffenheit der Röhrenwandung und der Natur und der Grösse der in Flüssigkeiten gebrachten kleinen Körperchen dieselben nach dem positiven oder negativen Pol. Wasser, in dem Stärkekörner suspendirt sind, geht beim Schliessen eines elektrischen Stromes in Richtung des positiven vorwärts. Bei schwachen Strömen wandern die an der Röhrenwand befindlichen Stärkekörnchen ebenfalls in der gleichen Richtung. Die in der Mitte des Rohres befindlichen Körnchen wandern umgekehrt. Wird der elektrische Strom verstärkt, so gehen zunächst alle

[1] Quinke: Über die Fortführung materieller Theilchen durch strömende Elektricität. Poggendorff's Annalen. 1861. IV. Reihe. Bd. 23.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

grösseren Körner in Richtung des Negativen, während die kleineren an der Wand laufenden noch ihre frühere Direction beibehalten; erst wenn der Strom noch stärker wirkt, bewegen sich alle Körnchen in Richtung des Negativen vorwärts. — Wie Stärke verhielten sich noch andere Stoffe. Im Terpentinöl bewegten sich die meisten Substanzen umgekehrt wie im Wasser, mit Ausnahme des Schwefels. — Eine solch' verschiedene Bewegungsrichtung einzelner Stoffe liesse, wenn man a priori berechtigt wäre, diese aufgestellten Thatsachen analogiegemäss auf die Plasmabewegungen im Allgemeinen anzuwenden, über grosse Schwierigkeiten in der Erklärungsweise derselben hinaushelfen, so z. B. über das schwerverständliche Verhalten zweier oder dreier direct neben einander vorbeischiessender Körnchen innerhalb eines und desselben Protoplasmafadens, etwa der *Tradescantia*-Staubfaden-Haarzellen und anderer, über das Hindurchgehen von Protoplasmafäden durch das Zellinnere, ohne dass man dabei Theile, die nebenan im Wasser suspendirt sind, rückwärts gehen sieht [1], über das auffallende Verhalten, dass das Protoplasma, beispielsweise junger Charenzellen in verschiedenen Tiefen gleich grosse Geschwindigkeit besitzt und dergleichen mehr.

Viertens war eine gewisse Analogie zwischen dem Verhalten der durch den elektrischen Strom in Glasröhren hervorgebrachten Körperbewegungen und derjenigen der plasmatischen Bewegungen der Pflanzen gegenüber von Säuren und Salzen vorhanden. Nach Quinke genügt es, dem Wasser, das zum physikalischen Versuch dienen soll, 0·1% NaCl; 0·1% $CuSO_4$ oder 0·04% H_2SO_4 hinzuzusetzen, um die Bewegungen desselben zu sistiren, so man einen elektrischen Strom durch dasselbe leitet; bei Zusatz geringerer Mengen wurde die Bewegung verzögert. Nach Dutrochet's und meinen eigenen Beobachtungen verlangsamt sich ebenfalls die Protoplasmabewegung der Charenzellen bei Zusatz sehr kleiner Quantitäten derartiger Substanzen, endlich hört sie auch ganz auf. Ich lege auf diese Analogie aber zunächst keinen grossen Werth, weil nicht alle Pflanzen ein gleiches Verhalten zeigen, und es ist mir noch nicht bekannt, ob

[1] Vergl. Nägeli: Mikroskop, p. 399 und eine Antwort hierauf. Velten: Regensburger Flora. 1873, p. 99.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

in widersprechenden Fällen ein correspondirendes Gesetz gewissermassen nur verdeckt wird.

Diese Anhaltspunkte, freilich wenig an der Zahl, waren es, die mir den Weg für die Untersuchung anwiesen. Die im Verlaufe der Arbeit sich ergebenden Thatsachen haben mich aber bald ermuthigt, immer mehr in das schwierige Problem einzudringen.

I. Theil.

Einfluss des galvanischen Stromes auf das Protoplasma und dessen Bewegungen.

A. Untersuchungsmethode.

Um durch mikroskopische Objecte, während man dieselben beobachtet, elektrische Ströme zu leiten, hat man sich bereits verschiedener Vorrichtungen bedient.

Dieselben sind zur Genüge beschrieben in Nägeli und Schwendener's „Mikroskop", p. 457 sowohl, als auch in dem gleichnamigen Werke Dippel's, p. 249. Es sind dies die Objectträger von Harting, Kühne, Nägeli und Schwendener, Schacht, Dippel etc. Für eine grössere Untersuchung schien mir aber keiner derselben besonders geeignet zu sein, wesshalb ich mir an der Hand der Erfahrung einen Objectträger zurechtgemacht habe, der allen meinen Anforderungen entsprach und noch entspricht.

Diese Anforderungen waren vornehmlich erstens die, dass der Objectträger gestattet, jeden Augenblick bequem die Elektroden umzuwechseln, was namentlich bei Anwendung verschiedener Dichtigkeiten der Elektricität von Werth ist; zweitens soll derselbe so beschaffen sein, dass durch das Mikroskop selbst keine Nebenschliessung eintreten kann. Zweigströme, die durch den Körper des Beobachters gehen — und diese kommen bei mangelhafter Construction des Trägers leicht zu Stande, wenn die Augengegend und die mit der Mikrometerschraube in Verbindung stehende Hautoberfläche feucht ist — sind keineswegs geeignet, dass derselbe mit der nöthigen Ruhe seine Beobachtungen ausführt. Es wird daher immer rathsam sein, die Metall-

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

theile des Oculars vor Allem mit einem schlecht leitenden Körper zu überdecken.

Mein elektrischer Objectträger besteht aus einer ein gutes Stück über den metallenen Objecttisch hinausragenden Glasplatte, auf welche mit Lack Stanniolpapier geklebt ist, das rechts und links ein Kleines über den Glasrand nach unten übergreift. Im Übrigen ist durch die Fig. 1 die Vorrichtung leicht verständlich. Bei *a* und *b* werden nach Belieben Elektroden aus Platin, Zinn oder anderen Metallen einfach aufgelegt. Die Elektroden selbst werden, wenn sie nur nicht zu dick sind, unter das möglichst gross zu wählende Deckgläschen untergeschoben und können je nach ihrer Form mit beliebigen Theilen des Versuchsobjectes in mehr oder weniger directe Berührung gebracht werden. Am Rande des Trägers sind rechts und links mit je zwei Öffnungen versehene Klemmschrauben angesetzt, die einerseits den Contact mit dem Staniol, anderseits mit dem Zuleitungsdraht herstellen. Damit der Objectträger leichte Verschiebungen bei der Beobachtung zulässt, sind die metallenen Zuleitungsdrähte kurz, ehe sie zu demselben treten, um ein hölzernes Stativ gewickelt, wodurch man das Object mehr in seine Gewalt bekömmt.

Was nun die Elektricitätsquellen betrifft, deren ich mich bediente, so waren dies die Holtz'sche Elektrisirmaschine, die constante Kette und der Inductionsapparat. Anfangs arbeitete ich meist mit dem constanten Strom (6—12 Bunsen), da ich aber keine wesentliche Differenz in der Wirkung des constanten und des Inductionsstromes erkannte, bediente ich mich bald lediglich der Bequemlichkeit halber des Inductionsstromes, und zwar zuerst des Du Bois-Reymond'schen Schlittenmagnetelektromotors, wie er zu physiologischen Zwecken gewöhnlich gebräuchlich ist, dann eines grösseren Ruhmkorff. Der Letztere wurde durch ein oder zwei grosse Bunsen'sche Elemente getrieben und die Stromstärke nach Belieben durch Einschalten verschiedenartiger Widerstände in den leitenden Kreis variirt.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

B. Thatsachen.

a) Chara foetida. Die einzige Arbeit, die über die Einwirkung der Elektricität auf die Protoplasmabewegung der Charen vorliegt, ist diejenige Becquerel's [1]. Derselbe fand Folgendes:

„1° l'électricité qui traverse la tige du chara tend à produire, dans les premiers instants, un engourdissement dont l'intensité dépend de la force du courant; 2° le courant agit en même temps et également sur le mouvement ascendant et le mouvement descendant; 3° le sens du courant ne paraît établir aucune différence dans leur mode d'action; 4° si le courant provient d'une pile chargée avec de l'eau, il faut employer un certain nombre de couples pour arrêter le mouvement de la lymphe; quelques instants après, il recommence peu à peu sous l'influence du courant, et finit par acquérir la vitesse qu'il avait primitivement. En augmentant le nombre de couples, il y a un nouvel arrêt, et ensuite reprise de mouvement; ainsi de suite jusqu'à ce que le courant ait assez d'intensité pour arrêter le mouvement rotatoire pendant quelques heures. En rétrogradant, c'est-à-dire en diminuant successivement le nombre de couples, on retrouve encore des arrêts et des reprises de mouvement. Le passage de l'électricité ne produit aucune désorganisation, puisqu'un repos plus ou moins prolongé rend à la plante ses facultés naturelles."

Das Vorliegende ist die Wirkung des constanten Stromes. Nach meinen Beobachtungen ist die Wirkung des constanten und Inductionsstromes die gleiche. Es tritt stets beim Durchleiten eines genügend starken Stromes eine Verlangsamung der Bewegung ein, die im Verhältniss zur Intensität des elektrischen Stromes steht. Für Chara sind relativ nur sehr schwache Ströme in Anwendung zu bringen, um einen Effect hervorzurufen, was bei den geringen Leitungswiderständen, die die Pflanze darbietet, leicht erklärlich ist.

Tritt einmal eine Verlagsamung ein, so kehrt der Plasmastrom nur ganz allmälig wieder zu seiner früheren Schnelligkeit

[1] Becquerel: Influence de l'électricité sur la circulation du Chara. Comptes Rendus. V. Band. 1837, p. 784.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

zurück. Protoplasmakörner ziemlich nahe der Wandung in der Mitte des Stromes gelegen, brauchten stets 5 Secunden, um eine Strecke von 226 Mikromillimetern zurückzulegen; durch kurze Einwirkung eines Inductionsstromes wurde fast Stillstand erzeugt; nach und nach trat aber wieder eine regelmässige Bewegung ein; nach Verlauf einer halben Stunde wurde dieselbe Strecke bereits wieder in 10 Secunden durchlaufen. Erst nach $1^1/_2$ Stunden kehrte die ursprüngliche Geschwindigkeit zurück. Starke Stromintensitäten bringen momentan für immer Stillstand der Bewegung hervor; zu gleicher Zeit runden sich in solchen Fällen die an dem Primordialschlauch hängenden langgestreckten Chlorophyllkörner ab. Die in dem Protoplasma rotirenden Chlorophyllkörner hören ebenfalls auf, ihre selbständigen Drehungen auszuführen, in dem Masse als die Stromintensität wächst. Man kann aber nicht sagen, dass die Strömung in der Bewegung des Protoplasma und der Chlorophyllkörner in gleichem Tempo verlaufe; ich habe öfters bemerkt, dass die Chlorophyllkörner noch unregelmässige Schläge auf das Plasma ausüben, wenn das letztere fast schon in das Stadium der Ruhe eingetreten ist. Es zeigt sich somit auch hier die Unabhängigkeit beiderlei Erscheinungen von einander, wenn ich dieselbe auch durchaus nicht eine unbedingte nennen will.

Der Primordialschlauch contrahirt sich bei Stromschluss nicht leicht; bei sehr starken Strömen ist aber doch eine Contraction hervorzubringen, sie ist aber meist nur gering.

b) Cucurbita Pepo. Haarzellen des Stengels und Blattstiels. Die Haarzellen von *Cucurbita* sind von einer Menge von Protoplasmafäden durchsetzt. Im Ganzen und Grossen ist es Circulationsbewegung, die in der Zelle zu sehen ist; doch ist nicht zu verkennen, dass häufig an ein und der anderen Stelle die Nägeli'sche Glitschbewegung vorwaltet. Der Übergang der letzteren zur Circulationsbewegung kann namentlich an der Wand der Zelle beobachtet werden. Die Geschwindigkeit der kleinen Protoplasmakörnchen beträgt für die Strecke von 0·1 Mm. bei einer Temperatur von 20° C. circa 20 Secunden, bald mehr, bald weniger. Der Zellkern befindet sich entweder an der Zellwand oder er wird von frei in der Flüssigkeit schwebenden Fäden getragen. Das am Primordialschlauch haftende Proto-

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

plasma ist meist fein und zierlich vertheilt. Es stellt dort ein Netz vor, das entweder rundliche oder polygonale Maschen besitzt, was aber seltener ist, oder die Maschen sind langgestreckt. Beide Arten der Vertheilung können nebeneinander vorkommen (Fig. 2 *a*). Mitunter liegen dicke Plasmastränge der Wand an. Beobachtet man nun das Wandplasma oder auch die das Innere der Zelle durchziehenden Stränge, so findet man, dass stets eine solche Plasmapartie aus optisch verschiedenen Theilen zusammengesetzt ist (Fig. 2 *a* und *b*).

Es ist ersichtlich, dass dieselben aus meist langgezogenen wasserarmen Partien bestehen, zwischen welchen wasserreiche oder wie ich nicht im Zweifel bin, lediglich plasmatisches Wasser eingelagert ist. Im Innern der Stränge können Längslinien verlaufen, Protoplasma, welches nicht weniger dicht ist, als wie die Hülle des Stranges.

Die bekannten winzigen Körnchen liegen meist in oder auf den dichten Partien und ihre Bewegung fällt zusammen mit der der dichten Theile. Das zwischen den letzteren befindliche plasmatische Wasser enthält meist keine Körnchen. Während die in dem dichten Protoplasma sich findenden Körnchen keine Spur von Molecularbewegung zeigen, wird diese in geringem Grade bemerkbar, wenn die Körnchen in die wässerigen Schichten hineinragen; sie wird lebhaft, wenn sie gar ganz in dieselben hineingerathen. Die einzelnen dichten Theile können quer durchsetzt werden von sich bewegenden Körnchen.

Die dunkleren Längslinien vermögen einige Zeit ihren Platz zu behaupten, trotzdem fortwährend Alles in fortschreitender Bewegung begriffen scheint; es hält die Form aber niemals lange Stand. Wie man aus der Fig. 2 *b* bei *p* entnimmt, gibt es auch grössere Plasmaportionen, die ganz körnchenfrei sind. — All' die Detailerscheinungen ferner, die für *Tradescantia*-Haarzellen von verschiedenen Seiten ausführlich erörtert wurden, gelten im Übrigen auch in ihrer Allgemeinheit für unser vorliegendes Object.

Lässt man einen schwachen Inductionsstrom durch die Zelle gehen, so ist die erste Wirkung die, dass eine grosse Anzahl von Körnchen anfangen, Molecularbewegung zu zeigen. Zu gleicher Zeit wird die Strömung verlangsamt. Ist die Einwirkung etwas

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

stärker, so treten zunächst an verschiedenen Stellen Anschwellungen auf; der Plasmafaden erscheint alsdann varicös. Die Anschwellung kann bestehen in einer kugeligen Auftreibung oder es können feine Fäden aus dem Strange hervortreten, die aber keine Köpfchen tragen, wie es Brücke für *Urtica* gefunden und beschrieben hat; diese Fädchen pendeln; sie zittern. Dieses Zittern kann als Molecularbewegung eines ganzen Fadens aufgefasst werden. Die Anschwellungen können nachträglich auftreten, wenn der Strom schon wieder geöffnet ist, sie scheinen daher ein secundäres Phänomen zu sein; sie treten aber um so rascher auf, wenn der Strom für einige Zeit geschlossen bleibt. Die Fig. 2 *a* zeigt an ein und demselben Faden verschiedene Fälle der elektrischen Stromeswirkung.

Überlässt man das Object der Ruhe, so können die Fortsätze wieder eingezogen werden und die regelmässige Strömung kann wiederum beginnen.

Fragen wir uns, wodurch sind die besprochenen Anschwellungen bedingt, so kann keinen Augenblick gezweifelt werden, dass sie in erster Linie verursacht sind durch örtliche Wasseraufnahme, in zweiter dadurch, dass die Plasmatheile an einzelnen Punkten zusammentreten, um an andere feine Fädchen feine Zwischenstücke übrig zu lassen. Bemerkenswerth ist der Umstand, dass die erste Wasseraufnahme nicht aus dem Grunde geschieht, dass die oben genannten dunkleren Theile breiter würden, dass sie aufquellten, nein, es sind die hellen Partien, die an Breite und Mächtigkeit zunehmen, während vorerst noch das eigentliche Protoplasma seine Bewegungen ungestört ausführt, vorausgesetzt, dass die Stromesintensität nicht zu bedeutend war. Gerathen jetzt die Körnchen der dichten Reihen in die breiteren lichten Räume, so zeigen sie sehr starke Molecularbewegung, rücken dabei sehr oft kaum vor- oder rückwärts (!), obgleich das nebenanstossende Protoplasma sich bewegt, und werden erst wieder fortgeführt, wenn sie dem dunkleren Theile adhäriren oder in dieselben selbst hineingerathen. Das vorhin besprochene Verhältniss ist in der Fig. 1 *d* angedeutet; man sieht, der Strang ist an einer Stelle angeschwollen; die schmalen hellen Partien beginnen sich zu verbreitern. Nimmt die Wasseraufnahme dann noch weiter zu, so wird das Ganze end-

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

lich eine Kugel, die sich vollständig von dem Strange abschnüren und frei in der Zellflüssigkeit umherschwimmen kann.

So viel man unterscheidet, besteht jetzt die Peripherie der Kugeln aus dichtem Protoplasma, das sich alles hier vereinigt hat, während das Innere der Kugeln nur aus plasmatischem Wasser, wie ich es auch hier so bezeichnen will, zusammengesetzt ist.

Isolirte Körnchen, die häufig in diesem Wasser vorkommen, tanzen lebhaft in der Vacuole herum, adhäriren aber leicht, wenn sie an die Peripherie der Kugel stossen. Die Kugel selbst schwillt immer mehr an, bis sie endlich, in den meisten Fällen wenigstens, zerplatzt, wobei ein Theil der Körnchen sich frei in die Intracellularflüssigkeit ergiesst, indessen das Protoplasma sogleich oder bald darauf dichter wird — es gerinnt. Das Anschwellen und Zerplatzen der Kugeln tritt sofort ein, wenn man den elektrischen Strom dauernd geschlossen hält. Dieses Anschwellen der Kugeln bis zum Zerplatzen derselben ist der allgemeinste Vorgang. Eine sonderbare und mir noch sehr räthselhafte Erscheinung, welche aber nur sehr selten eintritt, ist die, dass auch derartige Kugeln unter dem dauernden Einflusse des Inductionsstromes sich contrahiren können. Es gibt also auch Fälle, wo das Protoplasma ein dem Primordialschlauche analoges Verhalten zeigt.[1]

Hat die Elektricität von genügender Stärke eine Zeit lang eingewirkt, so quillt die ganze Masse des Protoplasma auf; ist dies geschehen und besitzen die Körnchen überall lebhafte Molecularbewegung, so legt sich die ganze Masse an den Primordialschlauch an; sie kann jetzt aus sich heraus keine fortschreitende Bewegung mehr beginnen. Wohl aber macht sich auch jetzt noch eine Kraft geltend, welche auf ganze Complexe des Beleges bewegend zu wirken sucht. Es können nämlich einzelne Massen nach ein und der andern Richtung noch hingezogen werden und dabei verhalten sich dieselben sichtlich vollkommen passiv.

---

[1] Ich habe einigen Grund zur Vermuthung, dass solche Kugeln aus Protoplasma zusammengesetzt sind, das aus der unmittelbaren Nähe des Zellkerns entstammt.

Nachträgliche Bemerkung: Das Gebiet der Contractionen ist nach meinen neuesten Beobachtungen ein weit grösseres, als ich es vermuthet habe; es verlangt aber die eingehendsten Studien.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Diese Kraft, welche die an und für sich zum allermindesten schon halbtodte Protoplasmamasse noch bewegt, muss in dem Primordialschlauche ihren Sitz haben. Es gewährt einen eigenartigen Anblick, wie die Molecularbewegung zeigenden Körnchen an ein und dem andern Ort der Wand — ich kenne keinen besseren Ausdruck als — zusammengeschwemmt werden. Nach dieser Erscheinung endlich zieht sich der Primordialschlauch auch mehr oder weniger zusammen. Jetzt ist der Tod der Zelle eingetreten. Die Contraction des Schlauches ist immer das letzte Lebenszeichen der Zelle. Mit scharfen glänzenden Rändern umgeben liegt nun das Protoplasma als grumiger Körper vertheilt am Primordialschlauche, welch' letzterer selbst eine grössere Dichtigkeit angenommen hat. Die kleinen Körnchen, insoferne sie an dem geronnenen Protoplasma haften, sind jetzt bewegungslos, während andere in der Intracellularflüssigkeit umhertanzen. Neben diesen Körnchen gewahrt man ausserdem lebhafte Molecularbewegung besitzende bacterienähnliche Gebilde, die, wie ich verfolgt habe, nichts Anderes sind, als feine Protoplasmasträngchen, die sich bisquit- oder rosenkranzförmig gestaltet haben.

Bei der Stromstärke, die hinreicht, den Tod der Zelle herbeizuführen, gelingt es bei den vollständig isolirten kleinen Körperchen hin- und hergehende Bewegungen hervorzurufen, deren Gesetzmässigkeit zunächst aber noch nicht erkannt werden kann.

Verstärkt man aber den Strom noch um ein Geringes (es wurde ein kleiner Widerstand aus der Kette ausgeschaltet), so beobachtet man, wenn auch nicht immer, gesetzmässige Bewegungen, von denen die in meinem früheren Aufsatze über das Protoplasma schon angezogene „künstliche Rotation" von plasmatischen Theilen das meiste Interesse erweckt. Diese Gegenstände werde ich aber erst im zweiten Theil meiner Abhandlung besprechen.

c) Tradescantia Zebrina. Staubfadenhaarzellen. Die Einwirkung elektrischer Ströme auf das Protoplasma der *Tradescantia*-Haarzellen ist schon eingehend von Kühne[1] unter-

[1] Kühne: Untersuchungen über das Protoplasma und die Contractilität. Leipzig 1864, p. 92 *(Tradescantia virginica).*

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

sucht worden. Wenige Beobachtungen rühren über den gleichen Gegenstand von Heidenhain[1] und Schultze[2] her, die der Zeit nach den Kühne'schen vorangehen.

Nach Kühne wird durch einige Inductionsschläge das Protoplasma zu Klumpen zusammengetrieben und der Primordialschlauch von der Zellwand abgelöst. Kühne sagt etwa Folgendes:

War die Einwirkung des elektrischen Stromes derart, dass der Primordialschlauch sich contrahirte, so steht die Bewegung für immer still, denn das Protoplasma ist zugleich chemisch verändert, es ist coagulirt, keine Molecularbewegung findet darin statt und in kurzer Zeit färbt es sich durch Imbibition aus der Zellflüssigkeit blau oder violett. So lange nicht wahre Molecularbewegung eingetreten ist, kann man sicher sein, dass die Bewegung wieder beginnt, wenn man das Haar der Ruhe überlässt. Ruhendes Protoplasma, mässig gereizt, tritt in eine Bewegung ein, die zwar nicht in dem gewöhnlichen Fliessen besteht, sondern in dem Zusammenfliessen nach mehreren Centren, um die sich die Kugeln und Klumpen anordnen. Diese Ansammlungspunkte liegen an den Orten der grössten Stromdichte. Die Einwirkung des constanten Stromes war der der eben geschilderten durch Inductionsströme ähnlich, nur ist zu bemerken, dass der constante Strom öfter hinter einander unterbrochen werden musste.

An die Untersuchungen Kühne's anschliessend, habe ich zu bemerken, dass *Tradescantia* sich ähnlich verhält wie *Cucurbita*; auch hier tritt zunächst Verlangsamung der Bewegung ein, worauf eine reichliche Wasseraufnahme folgt.

Die dickeren Fäden werden varicös; es bilden sich an verschiedenen Stellen ihres Innern zuerst kleine Vacuolen, die immer mehr anschwellen. Ein solcher Faden besteht nach einiger Zeit aus mehreren Kugeln, die durch äusserst feine Stränge verbunden sind. Die ursprünglich schon dünnsten Fäden zeigen durch die Einwirkung des Inductionsstromes eine schlängelnde, besser gesagt, zitternde Bewegung. Wo die Anschwellungen auf-

[1] Heidenhain: Studien des phys. Instituts zu Breslau. Heft II, p. 65

[2] Max Schultze: Das Protoplasma der Rhizopoden. 1863, p. 43.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

treten, fehlt auch die Molecularbewegung niemals. Ebenso wie Kühne, kann ich es als sichere Thatsache hinstellen, dass die kugeligen Auftreibungen wieder verschwinden können, wenn man das Object der Ruhe überlässt; das normale Strömen kann dann von Neuem beginnen.

Das Aufhören der Bewegung, die Kugelbildung und der Wiedereintritt der normalen Bewegung des Protoplasma kann bei geeigneter Methode des Experimentirens in wenigen Minuten beobachtet werden. Kühne brachte schon einen partiellen Stillstand der Bewegung hervor, der eine Ausdehnung des vierten Theiles einer Zelle ausmachte, wenn er Ströme von grosser Dichtigkeit durch die Zelle gehen liess.

Ich modificirte den Kühne'schen Versuch derart, dass ich eine Nadelspitze als Elektrode direct an eine Seitenwand der Zelle legte und dabei die dem Pole nächstliegenden Protoplasmafäden fixirte. Mochte der Strom in der einen oder andern Richtung gehen, stets war bei einer gewissen minimalen Stromintensität nur die Einwirkung auf eine einzige Stelle, ich möchte fast sagen, auf einen einzigen Punkt des der Elektrode zunächstliegenden Protoplasma beschränkt. Es war dies namentlich deutlich bei dem der Elektrode zunächst vorbeiziehenden Faden bemerkbar. Nur an der Stelle der grössten Dichtigkeit der Elektricität stand die Bewegung still; es trat Vacuolenbildung, Auftreibung des Plasma und Hand in Hand gehende Molecularbewegung der kleinen Körnchen ein. Der Plasmastrang, der vor der Schliessung des Stromes von dieser nachher afficirten Stelle abfloss, riss durch diesen Process, der geringen elektrischen Wirkung halber, nicht ab; anderseits aber strömte von der anderen Seite her noch fortwährend neues Protoplasma hinzu, so dass eine grosse Anhäufung an der lädirten Stelle entstand. Da der Inductionsstrom während des geschilderten Vorganges schon wieder geöffnet war, die Einwirkung daher nicht weiter um sich griff, so stellte sich nach und nach von Neuem das regelmässige Fliessen ein, die Vacuolen und die Auftreibungen verschwanden; der ganze Strang sah nach wenigen Minuten wieder so aus, als wenn nichts vorgefallen wäre. In allen übrigen Theilen der Zelle war die Bewegung der Fäden, ausgenommen diese einzige Stelle, nicht im mindesten angegriffen. Der Er-

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

regungszustand ist somit nur ein localer und vermag sich nicht im geringsten auf Nachbartheile fortzupflanzen.

Die Contraction des Primordialschlauches ist endlich auch hier das letzte Lebenszeichen und tritt ein, sobald die elektrische Reizung genügende Stärke gewinnt.

d) Vallisneria spiralis. Blattzellen. Über die Einwirkung des constanten als auch inducirten Stromes auf den Inhalt der Vallisneriablattzellen liegt ebenfalls eine Arbeit vor; es ist diejenige Jürgensen's[1]. Jürgensen kam zu folgenden Schlüssen: „1. Schwächere Ströme bewirken eine Verlangsamung der Bewegung, bei länger anhaltender Einwirkung Stillstand. 2. Wird die Leitung unterbrochen, dann stellt sich innerhalb einer gewissen Zeit die Bewegung wieder her, wenn sie nur verlangsamt, nicht vollständig aufgehoben war. 3. Hat die Bewegung vollständig aufgehört, so tritt, auch wenn die Kette augenblicklich geöffnet wird, keine Bewegung mehr ein. Treten noch kleine Verschiebungen auch nur einzelner Chlorophyllkörner ein, so kann eine völlige Wiederherstellung der Bewegung erfolgen. 4. Die Erscheinungen, welche das Aufhören der Bewegung begleiten, sind denen analog, welche bei spontanen Störungen in der Zelle entstehen. Das Chlorophyll häuft sich an verschiedenen Stellen zusammen und einzelne noch frei schwimmende Körnchen werden an diesen Punkten gehemmt. 5. Der einzige Unterschied zwischen den bei spontanen Störungen der Bewegung und den durch den constanten Strom bedingten ist der, dass die Punkte, wo Stauung eintritt, im letzteren Falle weit zahlreicher sind. 6. Stärkere Ströme wirken wie die schwächeren, wenn ihre Dauer nur eine kurze ist. 7. Steigert man die Stromstärke noch mehr, dann genügt momentanes Schliessen der Kette, um Stillstand für immer herbeizuführen. 8. Eine Verschiedenheit der Wirkung eines constanten Stromes auf auf- oder absteigend gerichtete Saftströmungen ist nicht zu constatiren. 9. Wenn die Kette gleich nach vollständigem Aufhören der Bewegung geöffnet wird, ist eine Contraction des Zelleninhaltes nicht zu bemerken.“

---

[1] Jürgensen: Über die in den Zellen der *Vallisneria spiralis* stattfindenden Bewegungserscheinungen. Studien des physiolog. Instit. zu Breslau. Herausgegeben von Heidenhain. 1861. I, p. 87.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Die vorliegenden Sätze gelten für den constanten Strom, doch sagt Jürgensen, dass ein Unterschied in der Wirkung der inducirten Ströme, verglichen mit diesem, kaum zu constatiren sei. Dasselbe habe ich auch bemerkt: ich habe daher meine Specialstudien, nachdem ich im Allgemeinen über die Wirkung des constanten Stromes auf *Vallisneria* orientirt war, mit Hilfe von Inductionsapparaten ausgeführt.

Beim Experimentiren fällt es zunächst auf, dass bei ein und derselben Stromstärke die physiologische Wirkung verschieden ist, ob der elektrische Strom durch die Epidermiszellen geht oder durch die langgestreckten breiteren und weit längeren Zellen des Blattinnern, der Mesophyllzellen. Während die Protoplasmabewegungen durch den Inductionsstrom in den letzteren schon aufgehoben sein kann, ist ein Effect bei dem Plasma der Epidermiszellen noch nicht im mindesten wahrzunehmen. Es kann keinem Zweifel unterliegen, dass dies auf Rechnung der beträchtlicheren Zahl von Zellwänden zuzuschreiben ist, die bei den Epidermiszellen verglichen mit den übrigen vom Strome, durchsetzt werden müssen. Ein Vallisneriablatt muss als ein verzweigter Leiter angesehen werden, für den das allgemeine Gesetz gilt, dass die Stromstärke der einzelnen Zweige sich umgekehrt proportional verhält, wie die Widerstände. Der Widerstand der Zellwände ist aber unter allen Umständen um ein Bedeutendes grösser, als der Widerstand der sauren Intracellularflüssigkeit und er muss selbstredend mit der Anzahl der Platten wachsen.

Meine ersten Orientirungsversuche ergaben übereinstimmend mit Jürgensen stets bei nicht sehr schwacher und wiederum nicht zu starken Stromintensitäten eine Verlangsamung der Protoplasmabewegung, ehe Stillstand eintrat. Diese Thatsache ist ganz zweifellos, so dass der Umstand, dass bei den Versuchen von Nägeli und Schwendener[1] stets augenblicklicher Stillstand der Bewegung ohne vorhergehende Verlangsamung beobachtet wurde, auf die angewandten unvollkommenen Apparate zu schieben ist, wie diese Möglichkeit von ihnen selbst schon betont wurde.

---

[1] Mikroskop. p. 461.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Einige auffallende Erscheinungen veranlassten mich, die Jürgensen'schen Angaben näher zu prüfen. Es war zu untersuchen, ob in Präparaten von *Vallisneria* stets zuerst nur Verlangsamung eintritt, während nach meinen Voraussetzungen in Objecten, wie das Besagte doch zunächst der Theorie nach Beschleunigung zu erwarten gewesen wäre; ich sage der Theorie nach, weil die in dem Blatte sich vorfindenden Widerstände eine Quelle von Wärme abgeben mussten, sobald ein elektrischer Strom dasselbe durcheilt. Versuche, die schon für andere Zwecke gemacht waren, ergaben, dass die Temperatur einer Wassermenge, die ungefähr gleich war dem hier in Betracht kommenden Volumen eines schlechtleitenden Körpers, bei einer Stromstärke, die in meinem Objecte lediglich, aber sicher Verlangsamung der Bewegung hervorrufen würde, sich soweit erhöhen muss, dass ein im Wege des elektrischen Stromes befindlicher Protoplasmakörper an und für sich schon so ziemlich der Wärmestarre verfallen muss. Obgleich nun die durch den Strom erzeugte Wärmemenge in quadratischem Verhältnisse zur Stromstärke wächst, bemerken wir doch nicht bei Steigerung des elektrischen Agens zuerst eine bedeutende Beschleunigung, sondern nur allzuleicht erfolgt Verlangsamung der Bewegung. Die beiderlei Effecte können wir aber doch sondern, wenn wir äusserst schwache galvanische Ströme in Anwendung bringen; dann beobachten wir regelmässig eine kleine Beschleunigung und diese würde gewiss weit grösser ausfallen, wenn wir in der Lage wären, das Versuchsobject vor Abkühlung zu schützen, ohne daran gehindert zu sein, die Bewegung gleichzeitig zu controliren.

Es sei vorausgeschickt, dass es stets die Ecken der Zellen sind, die Ein- und Austrittsstellen des elektrischen Stromes, an welchen zuerst eine Verlangsamung der Protoplasmabewegung hervorgerufen wird. Bei langgestreckten schmalen Zellen, die parallel dem Strome liegen, ist es immer die kleine Querwand, an der die ersten Wirkungen verspürt werden; aber auch wenn die Zelle senkrecht zum Strome steht, werden die Ecken zuerst afficirt. Wenn alles Protoplasma der Zelle noch in normaler Bewegung begriffen ist, kann local an einer Querwand eine Stockung eintreten. An einer solchen Stelle wird das Protoplasma starr

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

und das hinzueilende Plasma sammt seinen Chlorophyllkörnern häuft sich dort an.

Wird ein solches Hemmniss umgangen, so bewegt sich der freigemachte Theil mit geringer Anfangsgeschwindigkeit weiter, die stetig wächst, bis die ursprüngliche Geschwindigkeit wiederholt erreicht ist.

Dieses Spiel setzt sich dauernd fort, so dass stets, etwa ein Chlorophyllkorn, sobald es an die locale Schädigung stösst, die Geschwindigkeit Null erlangt, die dann beim Freiwerden des Korns wächst zur normalen Geschwindigkeit oder sich dieser zu nähern sucht. Ich komme darauf sogleich noch einmal zurück.

Eine solche Zelle, in der locale Läsionen eingetreten sind, wird sich wenig eignen, um zu sehen, ob die durch den Strom auftretende Wärme gar keinen Einfluss auf die Bewegung ausübt.

Eine andere weniger tiefgreifende Art der elektrischen Einwirkung ist die, dass das Protoplasma sammt seinen Chlorophyllkörnern strebt, seine Theile aneinanderzulegen, so dass in einer Zelle, in der ein Chlorophyllkorn hinter dem andern die Zelle durchkreist, kurze Zeit nach Stromschluss sich mehrere kugelförmige Körper zeigen, die ihre Entstehung an den Querwänden nahmen, ohne dass dort sich sonstige Hindernisse aufthürmten. Diese kleinen kugelförmigen Körper ziehen ungehindert dahin, fast so, als wenn die Substanz platt der Wand anliegen würde.

Solche Zellen sind vollkommen geeignet, die Frage nach der Beschleunigung der Bewegung zu entscheiden. Die Vallisneriaschnitte lagen schon kurze Zeit in Wasser, so dass ein gleichmässiges Strömen stattfand. Um jede Fehlerquelle zu vermeiden, wurden entweder ganz freischwimmende Körner fixirt oder es wurde die Geschwindigkeit eines gleichmässig dahingleitenden Ballens von Protoplasma gemessen, oder die vereinzelten Chlorophyllkörner, die in einem gewissen Abstande von solchen Ballen sich befanden, wurden der Geschwindigkeitsmessung unterzogen.

Dadurch sind die Fehler eliminirt, die dadurch entstehen, dass man die Geschwindigkeit von Körnern ins Auge fasst, die selbst ihre Bewegung verändern, sobald ein Korn zuerst hinter

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

oder vor dem Zellkern oder einer Ansammlung von Protoplasma dahingleitet u. s. f. Die Geschwindigkeit der an den Längswänden laufenden Körner wurde gemessen, so wie es bei meinen Specialuntersuchungen über den Einfluss der Temperatur auf die Protoplasmabewegung der Fall war, d. h. es wurde eine bestimmte Wegstrecke fixirt, die Schläge einer Tasehenuhr gezählt, die verliefen, bis ein Korn diese Weglänge zurücklegte. Es seien einige Zahlenwerthe mitgetheilt.

1. Versuch. Die Zeit [1], die verstrich, um eine bestimmte Weglänge α zu durchlaufen, betrug 13·8 Sec., den Weg β auf der gegenüberliegenden Seite der Zelle 13·6 Sec. Strom geschlossen

$$\alpha = 10{\cdot}8 \text{ Sec. } \beta = 11{\cdot}2 \text{ Sec.}$$

Strom wiederholt geöffnet $\alpha = 13{\cdot}2$ Sec. $\beta = 13{\cdot}2$ Sec.
„ „ geschlossen $\alpha = 10{\cdot}8$ „ $\beta = 10{\cdot}8$ „

2. Versuch. Die Weglänge α wurde durchlaufen in 12·8 Sec.
Strom auf die Dauer von 5 Min. geschlossen $\alpha = 10{\cdot}8$ Sec.
„ „ „ „ „ 5 „ geöffnet $\alpha = 10{\cdot}8$ „
„ wiederholt auf 5 „ geschlossen $\alpha = 9{\cdot}8$ „
„ geöffnet $\alpha = 10{\cdot}8$ Sec.

Strom geschlossen und zugleich die Stromintensität erhöht.
1. Messung . . . . $\alpha = 9{\cdot}2$ Sec.
2. „ . . . . $\alpha = 9{\cdot}6$ „
3. „ . . . . $\alpha = 32{\cdot}0$ „
4. „ . . . . $\alpha = 0$ (Gänzlicher Stillstand).

Die Zeitdauer vom Stromschluss an gerechnet bis zum Stillstand betrug 2 Minuten.

3. Versuch. Die Constante α wurde durchlaufen in 16·2 Sec.

Strom geschlossen $\alpha = 14{\cdot}8$ Sec.
„ geöffnet $\alpha = 16{\cdot}8$ „
„ geschlossen $\alpha = 16{\cdot}4$ „

[1] Sämmtliche Zeitangaben sind, mit Ausnahme derjenigen Stellen, wo die einzelnen Messungen aufgezeichnet sind, Mittelwerthe aus mehreren Messungen. 2½ Uhrschläge betrugen den Werth von 1 Secunde. — Die Temperatur war 20° Celsius.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Nach dem letzten Schliessen trat locale Anhäufung ein, so dass der Protoplasmastrom gestört wurde.

4. Versuch. α wurde durchlaufen in 10·4 Sec.

Strom geschlossen $\alpha = 10$ Sec.

„ geöffnet $\alpha = 12$ „

5. Versuch. α wurde vor dem Versuch durchlaufen in der bei mehreren Zählungen unbedeutend schwankenden Zeit von 12·8 Sec.

Strom geschlossen 10·4 Sec.

Als nun geöffnet wurde, hatte der Öffnungsschlag eine bedeutende physiologische Wirkung.

Folgende sieben Messungen, nachdem die Stromesintensität nun auf Null gesunken war, lauten:

α (Weg war hier $= 226{\cdot}4\ \mu$) = 1. 14·8 Sec., 2. 20·0 Sec., 3. 13·6 Sec., 4. 12·4 Sec., 5. 12·8 Sec., 6. 11·6 Sec., 7. 11·6 Sec.

Neuer Stromschluss: $\alpha = 1.\ 12$ Sec., 2. 12·8 Sec., 3. 10·4 Sec., 4. 13·6 Sec.

Es war jetzt erst eine sichtliche Störung in der Zelle eingetreten, die nun nicht mehr wich.

Die Aufzählung eines Theiles meiner Versuche möge genügen, um eine kurze Betrachtung daran zu knüpfen.

Es ist ersichtlich, dass stets bei der Schliessung des Inductionsstromes eine kleine Beschleunigung der Bewegung eintritt. Die Beschleunigung kann auf Rechnung der durch den Strom erzeugten Wärme gesetzt werden, die um so grösser ist, je grössere Widerstände das Blatt darbietet. Die Wärmewirkung, die sich sofort bemerklich macht bei Nichtanwendung eines Immersionssystemes und beim Hinweglassen eines Deckglases dadurch, dass die Objectlinse von Wasserdämpfen beschlagen wird, muss hier in Betracht gezogen werden. Die Temperatursteigerung im Innern eines Präparates muss in einem solchen Falle eine bemerkenswerthe Grösse betragen. Wir haben es unter allen Umständen mit zwei sich entgegenwirkenden Kräften zu thun, von denen die eine die Geschwindigkeit zu vermehren sucht, deren Effect aber durch die die Bewegung sistirende Kraft verdeckt wird.

Wir sehen in dem Versuch 1 und 3, dass durch den Strom secundär eine Beschleunigung eintritt, die beim Öffnen sogleich

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

wieder verschwindet. Die Wärme wurde demnach sofort an das umgebende Medium abgeführt. Bei Versuch 2 sehen wir überhaupt eine Steigerung der Thätigkeit des Protoplasma's eintreten. Beim Schliessen ergibt sich Beschleunigung, die beim Öffnen des Stromes nicht abnahm, und bei wiederholten Schliessen war eine noch weitere Beschleunigung wahrzunehmen, die beim Öffnen zurückging. Als dann die Stromintensität erhöht wurde, erreichte die Geschwindigkeit im ersten Moment ihr Maximum, von dem aus sie aber sofort sank bis zu Null. Bei Versuch 4 und 5 trat beim Schliessen sofort Beschleunigung, beim Öffnen eine Retardation ein, die über die Grenze der ursprünglichen Geschwindigkeit zurückging. Diese beträchtliche Retardation ist durch die bedeutende Wirkung des Öffnungsinductionsschlages, der von kürzerer Dauer ist und daher eine bedeutendere physiologische Wirkung hervorrufen kann als der Schliessungsschlag, bedingt, und von dem aus dann im Elektricitätskreis die Stromstärke dauernd auf Null fiel. Die sieben Zahlenwerthe im Versuch 5 zeigen, dass durch den Öffnungsschlag momentan das Protoplasma gestört wurde, dass es sich aber sofort wieder erholte. Der Versuch 2 lehrt endlich noch, dass die Dauer der Stromwirkung von Werth ist, insofern bei dem letzten Schliessen zuerst Beschleunigung eintrat, die rasch wiederum sank.

Bei etwas stärkeren Strömen nimmt man nun sofort Verlangsamung wahr, jedoch nicht derart, wie es bei Einwirkung höherer Temperaturgrade der Fall ist, wo die Abnahme der Geschwindigkeit in der ganzen Zelle gleichmässig verläuft, sondern es geschieht so, dass die Ecken und schmalen Querwände der Zelle zuerst afficirt werden, während im übrigen Theile der Zelle, wie schon angedeutet, alles normal weiter sich bewegen kann oder die Geschwindigkeit selbst noch erhöht wird.

Ist die Einwirkung an einer solchen Querwand oder in einer Ecke der Zelle grösser, so kann es sich ereignen, dass alle oder viele Chlorophyllkörner sich dort anhäufen, entweder nur auf der einen Seite der Zelle oder auch auf beiden. Wenn der Strom anfangs noch nicht Stillstand gebietet, so kann bei andauerndem Stromschluss dies geschehen. Für constante Ströme muss ich hier die Bemerkung einschieben, dass dieselben häufig unterbrochen ebenso wirkten, wie dauernder Stromschluss. Dieses

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Resultat, das ich nicht abläugnen kann, gilt vermuthlich nicht für jede Stromstärke.

Ist einmal Alles in der Zelle in Ruhe und man verstärkt den Strom nur noch um ein Weniges, so beginnen die Chlorophyllkörner sich ruckweise zu bewegen, mitunter zeigen jetzt auch einzelne Tanzbewegung; sie werden wie hin- und hergezerrt, ohne dass aus der Bewegungsrichtung eine bestimmte Gesetzmässigkeit erkannt werden könnte; ebenso verhält es sich auch mit dem Protoplasma. Endgiltig fährt Alles auseinander; die Chlorophyllkörner gehen hin und her, schwellen an, zerplatzen unter Umständen und es tritt dann eine gewisse Gleichförmigkeit der Masse ein. Man hat jetzt eine grüngefärbte, sehr wasserhältige Masse vor sich. Diese Masse wird durch längere Wirkung des constanten sowohl als auch des inducirten Stromes immer mehr grumig; sie gerinnt. Die obengenannte ruckweise Bewegung ist nicht gleichzeitig in allen Zellen zu sehen; es kann in andern Ruhe herrschen. Der Primordialschlauch zog sich bei dieser Stromstärke nicht von der Wand zurück.

Ist die Bewegung des Protoplasma durch den elektrischen Strom verlangsamt oder selbst vollkommen sistirt, mit oder ohne Kugelbildung desselben und sind weiter keine auffallenden Störungserscheinungen eingetreten, so kann je nach der Stromesintensität, die man hat einwirken lassen, die Bewegung wieder sogleich oder erst nach Stunden von Neuem beginnen. Für manche Zelle hat der Öffnungsinductionsschlag, insoferne man den elektrischen Strom plötzlich auf Null sinken lässt, eine grössere physiologische Wirkung wie der Schliessungsschlag oder die dauernde Einwirkung des Inductionsstromes. Das Protoplasma einzelner Zellen, das wenig oder gar nicht afficirt ist, kann durch das Öffnen der Kette zum Stillstand gezwungen werden. Die in der Zellflüssigkeit liegenden Molecularbewegung zeigenden Körnchen werden durch die hier angewendeten Stromesstärken in ihrer Bewegung noch nicht wesentlich beeinflusst.

Auf- und absteigende Ströme werden durch die Elektricität in gleicher Weise afficirt, woraus man aber keinen allzu grossen Schluss in Bezug auf die etwaige Bewegungsursache ziehen darf.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Die fünf ersten Hauptsätze, zu welchen Jürgensen gelangte, wären daher zu modificiren, und zwar dahin:

1. Schwächere Ströme bewirken zunächst Beschleunigung der Protoplasmabewegung, die auf Rechnung der auftretenden höheren Temperatur gesetzt werden kann. Wenn der Strom längere Zeit einwirkt, so kann es zur Verlangsamung der Bewegung, endgiltig zum Stillstand kommen.

2. und 3. Wenn die Protoplasmabewegung verlangsamt ist, so stellt sie sich, insoferne das plötzliche Schwanken des Stromes auf dauernd Null nicht zu störend einwirkt, nach ganz kurzer Zeit wieder her; es kömmt alsbald wiederum zum normalen sogenannten Fliessen des Protoplasma. War die Bewegung vollständig aufgehoben, im Übrigen aber keine tiefgreifenden Veränderungen vorhanden, so tritt sie nach längerer Zeit wieder ein, wenn das Object der Ruhe überlassen bleibt.

4. und 5. Die Punkte, an denen sich die Chlorophyllkörner und das Protoplasma anhäufen, sind die schmalen Querwände, wo ohnehin schon durch die grössere Reibung eine Verlangsamung der Bewegung eintritt; sind die Stromesintensitäten stärker, so können auch an anderen Stellen Anhäufungen entstehen.

Um zu zeigen, wie ungleich das Protoplasma und die Chlorophyllkörner afficirt werden, wenn die Intensitäten derart sind, dass eine „Verlangsamung zu Tage tritt", mögen folgende Werthe dienen. Eine fixirte Weglänge aus einer der längsten Mesophyllzellen wurde von hintereinanderfolgenden Chlorophyllkörnern innerhalb des Grenzwerthes von 15·2—16 Secunden durchlaufen. Als der Strom geschlossen wurde, betrug die Zeit für verschiedene Körner, die diese Strecke durchliefen, unter gleichen Bedingungen gemessen, erstens 20·4 Sec., zweitens und sofort: 16·8 Sec.; 16 Sec.; 14·8 Sec.; 12·8 Sec.; 16 Sec.; 16 Sec.; 18·4 Sec.; 20 Sec.; 17 Sec.; 16 Sec.; 16 Sec.; 16 Sec.; 14 Sec.; 13·2 Sec.; 14·4 Sec.; 13·2 Sec.; 15·6 Sec.; 14 Sec.; 16 Sec.; 16 Sec. etc.

Es stellt dies meiner Ansicht nach nichts Anderes dar, als einen Kampf zwischen Wärme und Elektricitätswirkung.

Ich komme schliesslich noch zu einem genau untersuchten Fall einer örtlichen Contusion. Eine parallelepipedische Zelle *a*, Fig. 3, wurde parallel dem elektrischen Strome auf den

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Objectträger gebracht. Die Rotation war in vollem Gange. An der Wand *b* und *c* brauchten die Chlorophyllkörner stets 11·6 Sec., um von einer Ecke bis zur andern zu gelangen. Als der Inductionsstrom geschlossen wurde, war eine kleine Schädigung bei *s* zu bemerken. Das Protoplasma sah dort aus wie geronnen; es war erstarrt. In Folge dessen häuften sich Plasma und Chlorophyllkörner an dieser Stelle etwas an. Von hier lösten sich dann und wann ein oder mehrere Körner sammt Plasma los, die dann langsam an der Wand *b* weiterschritten. Die Geschwindigkeit betrug jetzt für die Strecke *b* = 20 Sec.; dieselbe war aber im Zunehmen begriffen, so dass sie für die Strecke *c* bald 13·6, bald 12, bald 11·6 Sec. betrug. Sobald die Körner wieder an den beschädigten Punkt gelangten, standen sie wiederholt einen Augenblick still. So ging es fort etwa $^1/_4$ Stunde. Die Beschädigung schien jetzt an Umfang zuzunehmen, so dass ein Weiterkommen oder ein Hinübergleiten der in der Bewegung aufgehaltenen Körner unmöglich schien; in Folge dessen brach sich der Rotationsstrom eine neue Bahn. Die Körner sammt dem Protoplasma bogen nun vor der Contusion nach abwärts und liefen so mitten auf der unteren Wand nach der entgegengesetzten Seite kehrten am Rande der oberen Wand wieder zurück; es war ein Rotationsstrom entstanden, der fast senkrecht zu dem vorigen verlief. Nach einer weiteren Viertelstunde war die Starre trotz des dauernden Stromschlusses am Punktes wieder aufgehoben. In Folge dessen suchte der Rotationsstrom wieder seine alte Richtung auf und zu gleicher Zeit trat eine Beschleunigung der Bewegung ein; man zählte nun für die Wand *b* von einer Ecke zur andern 9·6 Sec. oder 8·8 Sec.; für die Wand *c* 8·8 Sec. An der Stelle *s* wurde den Körnern nicht Stillstand geboten, aber sie gingen für einen Augenblick etwas langsamer. Das Experiment habe ich zweimal an derselben Zelle wiederholt. Durch den Öffnungsschlag des zweiten Stromschlusses wurde die Bewegung gänzlich sistirt. Diese Thatsache lehrt wiederholt, dass die Vertheilung der Elektricität in einem Zellenaggregate beim Durchleiten eines galvanischen Stromes sehr verschieden sein kann, indem lange Zeit hindurch stets nur an einer vereinzelten Stelle der Zelle die Dichtigkeit der Elektricität so gross ist, um einen Starrezustand des Protoplasma hervorzubringen.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Diese Thatsache, die ich soeben besprochen, gibt aber auch noch zu gleicher Zeit Aufschlüsse über die Mechanik der Bewegungen, über welche ich mich p. 86 meines Aufsatzes „Bewegung und Bau des Protoplasma“ [1] speciell ausgelassen habe.

c) Elodea canadensis. Blattzellen der Blattoberseite und Stengelzellen. Was von *Vallisneria* gesagt wurde, gilt so ziemlich auch hier; ich kann mich daher kürzer fassen. Ebenso wie bei *Vallisneria* tritt vor dem Stillstande der Bewegung bei schwächeren Strömen stets Verlangsamung ein; bei ganz schwachen Strömen ist eine Beschleunigung zu bemerken. Ebenso wie dort sind es die Ecken und schmalen Querwände, an denen zunächst eine Starre des Protoplasma hervorgerufen wird, über welche die Chlorophyllkörner sammt Plasma, wenn sie an eine solche Stelle während ihrer Bewegung stossen, nur mit Mühe hinüberkommen und dann, nachdem ihre Bewegung momentan verlangsamt war, ihre alte Geschwindigkeit von Neuem erlangen. Bei Blatt- und Stengelzellen beobachtet man schon bei schwächeren Strömen Kugelbildung des Protoplasma, ohne dass zunächst Wasseraufnahme desselben ersichtlich ist und ohne dass Verlangsamung folgt. Diese kugelförmigen Körper schliessen dann gewöhnlich mehrere Chlorophyllkörner ein. Wird der Strom, sowohl der constante als der inducirte, nun etwas verstärkt, so folgt Verlangsamung, selbst Stillstand; bei noch grösserer Stromintensität fangen die Kugeln an sich zu bewegen, auseinanderzugehen. Das Zerfliessen des Protoplasma kann auch schon hervorgerufen werden, wenn ein stärkerer Inductionsstrom auch nur für einen Moment geschlossen ist. Die Chlorophyllkörner werden zersprengt; es treten grüne wolkige Massen auf. Diverse Fetzen Protoplasma liegen dann in der Zelle umher; die Körnchen zeigen Molecularbewegung. Der Primordialschlauch contrahirt sich gewöhnlich nicht; in den Fällen, in denen ich sie sah, war die Contraction sehr gering.

In Zellen, deren Protoplasma zur Ruhe gebracht worden ist, in denen Kugelbildung eingetreten war, ohne dass sonst erhebliche Störungen hervorgerufen wurden, kann die Bewegung je nach der Stärke der vorangegangenen elektrischen Einwir-

[1] Velten. Regensburger Flora. 1873.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

kung wiederum sogleich oder nach Stunden von Neuem beginnen. Ich habe oft den Zelleninhalt wiederholt in normaler Bewegung gesehen, wenn ich Tags zuvor stundenlang Ruhe auf elektrische Reize hin eintreten sah. In denjenigen Zellen, welche eine noch so schwache Contraction des Primordialschlauches durch den elektrischen Strom wahrnehmen liessen, habe ich die aufgehobene Bewegung nicht mehr beginnen sehen.

Untersucht man Blattzellen, die frisch von der Pflanze entnommen sind, so befinden sich die Chlorophyllkörner noch in den ersten Momenten in Normalstellung; kurz nach dem Abschneiden der Blätter beginnt das Protoplasma sammt Körnern sich zu bewegen; es tritt Nägeli's Glitschbewegung ein, die dann später in Circulation übergeht. Bei solchen Zellen ist es deutlich wahrzunehmen, dass nach Einwirkung eines schwachen Inductionsstromes eine Menge winziger Vacuolen auftreten. Es ist dies dieselbe Erscheinung, nur minder auffallend, wie wir sie bei den Plasmasträngen der Cucurbitahaarzellen kennen lernten. Das Protoplasma nimmt gereizt durch den elektrischen Strom Wasser auf. Der Öffnungsschlag hat bei diesem Object auch öfters eine grössere physiologische Wirkung wie der Schliessungsschlag. Mit sehr verdünnter Zuckerlösung behandelte Elodeazellen verhalten sich sensibler gegen den elektrischen Strom als vollkommen normale.

Bei etwas stärkeren Strömen, als wie diejenigen es sind, welche Stillstand der Bewegung gebieten, stellt sich auch hier wie bei *Vallisneria* jene ruckweise Bewegung der Chlorophyllkörner ein, welche eine täuschende Ähnlichkeit mit Circulationsbewegung hat. Das Protoplasma sieht noch vollkommen normal aus; die Chlorophyllkörner rücken dann an verschiedenen Stellen zusammen. Die Rotation kann so für einen Augenblick in Circulation umgewandelt werden; umgekehrt kann man aber die „normale Rotation" nicht mehr hervorbringen.

Diese beschriebenen Bewegungen tragen bereits den Keim des Verfalles in sich. Wird der Strom nun noch etwas weiter verstärkt oder lässt man den früheren für einige Zeit geschlossen, so sammelt sich das noch ganz normal aussehende Protoplasma sammt Chlorophyllkörnern in der Mehrzahl der Fälle an der dem positiven Pole zugewandten Zellwand; aber auch an der dem

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

negativen Pole benachbarten ist es häufig zu finden; es stellt an diesen Wänden theils Platten, theils schöne kugelähnliche Massen dar. Diese Erscheinung ist nicht zu verwechseln mit der bei noch weiter verstärktem Strome auftretenden Wanderung des Inhaltes in Richtung des negativen Stromes, auf welche ich in meiner nächsten Mittheilung zu sprechen komme. Hier hat man es kaum mit einer eigentlichen, durch den Strom verursachten Wanderung in einer ganz bestimmten Richtung zu thun; da aber verschiedene Möglichkeiten der Erklärung vorliegen und ich dieselbe nicht ohne Heranziehung einer ganzen Reihe physikalischer Sätze abhandeln kann, komme ich bei Gelegenheit im Spätern wieder hierauf zurück.

f) Sida Napaea. Cambiumzellen des Stengels. Durch Einwirkung eines stärkeren Inductionsstromes wurde die Rotationsströmung verlangsamt, nach kurzer Zeit stand sie bei Stromschluss stille. Das Protoplasma zog sich dann bald zu unregelmässigen Klumpen zusammen. Der Primordialschlauch contrahirte sich. Molecularbewegung der Protoplasmakörnchen war schliesslich nicht zu sehen.

g) Cladophora glomerata. Ausgewachsene Zellen. Bei Einwirkung schwächerer Inductionsströme hört die circulationsartige Glitschbewegung, die wir an dem Zelleninhalte beobachten, alsbald auf. Die an der Wand liegenden Chlorophyllkörner, die in normalem Zustande der Wand dicht angeschmiegt, polygonal etwas in die Länge gestreckt und gegenseitig abgeplattet sind, ziehen sich zusammen; sie nehmen Linsen, resp. Kugelgestalt an. Die Wirkung des Stromes macht sich bei parallel demselben gelegenen Zellen derart geltend, dass die zunächst der schmalen Querwand liegenden Körner sich zuerst abrunden. Von beiden Seiten schreitet dieser Process nach der Mitte hin fort. Unter dem dauernden Einfluss eines schwächeren Stromes oder bei kurzer Einwirkung eines starken, verschmelzen die abgerundeten Chlorophyllkörner und kugeligen Protoplasmakörper mit einander; sie fliessen zusammen. Wird der Strom noch verstärkt, so nimmt die ganze Masse noch zusehends Wasser auf. Die Chlorophyllkörner werden grösser und heller; die ganze Masse ist dann gegen die Zellflüssigkeit hin nicht mehr scharf contourirt; es sind nur lediglich die in den Chloro-

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

phyllkörnern liegenden Stärkekörner, die ihren scharfen Contour behalten. Die Protoplasmakörnchen zeigen lebhafte Molecularbewegung.

h) Urtica urens. Brennhaare. Mit diesem Object habe ich in elektrischer Beziehung noch nicht so viel Versuche gemacht, um meine eigenen Beobachtungen der Öffentlichkeit übergeben zu können. Da wir aber bereits über diese Zellen eine bemerkenswerthe Untersuchung Brücke [1] verdanken, so will ich es nicht umgehen, das Wichtigste derselben zu recapituliren, umsomehr, als mit dieser Arbeit die ganze botanische Literatur mit Ausnahme der Studien über niedere Organismen dann vollständig einbezogen sein wird.

Brücke fand Folgendes:

Bei schwachen Schlägen des Magnetelektromotors erscheinen eine grössere oder geringere Menge von Fäden, welche vom Zellenleibe aus in die Intracellularflüssigkeit hineinragen. An ihrem Ende tragen sie eine grössere oder kleinere Anschwellung und man sieht sie in einer fortwährenden, bald schwächeren, bald stärkeren zitternden oder schlängelnden Bewegung begriffen. Bisweilen sieht man neben den Fäden auch stärkere Kolben oder keulenartige Gebilde hervortreten. War die Einwirkung nicht zu stark, so kann die Protoplasmabewegung noch fortdauern, der normale Zustand kann der Anschauung nach wieder vollständig eintreten. Bei starker elektrischer Einwirkung hört das Fliessen sofort auf und es tritt eine unregelmässige Bewegung der Körnchen ein, welche ganz den Charakter der Molecularbewegung trägt.

Brücke beschreibt dann weiter eintretende Erscheinungen, welche nach meinen Beobachtungen kurz als „Kugel- und Vacuolenbildungen" des Protoplasma bezeichnet werden können. Erst nach einiger Zeit zog sich dann der Zellenleib, das heisst, der Primordialschlauch sammt seinen anliegenden Theilen von der Zellwand zurück.

---

[1] Brücke: Das Verhalten der sogenannten Protoplasmaströme in den Brennhaaren von *Urtica urens* gegen die Schläge des Magnetelektromotors. Sitzungsberichte d. math. phys. Cl. d. k. Acad. d. Wiss. in Wien. 46. Bd. II. Abth., p. 35.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

i) Goldfussia glomerata. Blattstielhaare. Dieses Object, mit dem ich mich sehr viel beschäftigt habe, stimmt mit allem bei *Cucurbita Pepo* Gesagten so vollkommen überein, dass es lediglich eine Recapitulation des schon Dargelegten wäre hierauf speciell einzugehen. Es sind nur zwei Punkte, die ich bei *Goldfussia* nicht Gelegenheit gehabt habe zu beobachten, nämlich die ausnahmsweise Contraction von eigentlichem Protoplasma durch die Einwirkung des elektrischen Stromes und das eigenthümliche Zusammenschwemmen der kleinen Körperchen an verschiedenen Punkten des Primordialschlauches bei *Cucurbita,* welches, da es nach dem Öffnen des elektrischen Stromes eintritt, vermuthlich durch eine vom Primordialschlauch ausgehende Kraft verursacht wird, wie ich bereits erwähnt habe.

C. Resultate.

Obgleich wohl hier schon der Ort wäre, sich auf eine nähere Deutung der vorgeführten Erscheinungen einzulassen, so ziehe ich es doch vor, lediglich nur die sich aus den Thatsachen ergeben habenden Gesetze kurz zu wiederholen. Dies geschieht aus dem Grunde, weil ich bei Besprechung der Ursächlichkeit der Erscheinungen ohnedies auf die hier erörterten Vorgänge zurückgreifen muss.

Die Gesetze lauten:

1. Constante und Inductionsströme, auch Ströme, die der Holtz'schen Influenzelektrisirmaschine entstammen, haben keine verschiedene Wirkung auf das Protoplasma und dessen Bewegungen.
2. Sehr schwache elektrische Ströme bewirken bei Pflanzentheilen, die grosse Widerstände darbieten, zunächst Beschleunigung der Protoplasmabewegung, die auf Rechnung der durch den Strom auftretenden höheren Temperatur gesetzt werden kann.
3. Wenn ein sehr schwacher elektrischer Strom längere Zeit einwirkt, so kann es zur Verlangsamung der Protoplasmabewegung kommen, endgiltig unter Umständen auch zum Stillstand.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

4. Schwache Ströme bringen sofort Verlangsamung der Protoplasmabewegung hervor; bei längerer Einwirkung kann Stillstand eintreten.
5. Wenn die Protoplasmabewegung verlangsamt ist, so stellt sie sich, insoferne das plötzliche Schwanken des elektrischen Stromes auf dauernd Null beim Öffnen desselben nicht zu störend einwirkt, nach ganz kurzer Zeit wieder her; es kommt alsbald wiederum zum normalen sogenannten Fliessen des Plasma.
6. War die Bewegung des Protoplasma durch die elektrische Wirkung vollständig aufgehoben, im Übrigen aber keine tiefgreifenden Veränderungen vorhanden, so tritt sie nach längerer Zeit wieder ein, wenn das Object der Ruhe überlassen wird.
7. Die Punkte in der Zelle, an denen sich bei schwächeren Strömen bei der Mehrzahl der untersuchten Pflanzen durch elektrische Effecte Chlorophyllkörner und Protoplasma anhäufen, sind die schmalen Querwände, wo ohnehin schon durch die grössere Reibung eine Verlangsamung der Bewegung hervorgerufen wird; sind die Stromintensitäten stärker, so können auch an anderen Stellen Anhäufungen des Zelleninhaltes entstehen.
8. Ist einmal Verlangsamung eingetreten, so kehrt der Protoplasmastrom nur ganz allmälig zu seiner früheren Schnelligkeit zurück.
9. Durch mässige elektrische Reizung wird Molecularbewegung der bekannten kleinen Protoplasmakörnchen hervorgerufen.
10. In den meisten Fällen werden die Inhaltstheile der Zelle durch den elektrischen Strom ungleich afficirt.
11. Starke Stromintensitäten bringen für immer Stillstand der Protoplasmabewegung hervor.
12. Durch sehr starke Ströme wird der Primordialschlauch contrahirt.
13. Der Öffnungsinductionsschlag hat öfters eine grössere physiologische Wirkung wie der Schliessungsinductionsschlag.
14. Die Dichtigkeit der Elektricität ist von der grössten Bedeutung für ihre Wirksamkeit auf das Protoplasma.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

15. Der durch den elektrischen Strom bei dem Protoplasma hervorgerufene Erregungszustand pflanzt sich nicht auf Nachbartheile fort.
16. Durch schwache elektrische Ströme wird das Protoplasma befähigt, Wasser in seine Insuccationscanäle aufzunehmen.
17. Das aufgenommene Wasser kann wiederum durch das Protoplasma selbst ausgepresst werden, wenn man das Object der Ruhe überlässt (vergl. die physikalische Beschaffenheit des Protoplasma von W. Velten).
18. Bei mässiger, aber nicht zu schwacher elektrischer Reizung tritt vollkommen Vacuolenbildung ein, nach welcher entweder der Tod desselben oder Restitution erfolgt; hier ist die Grenze zwischen Leben und Tod.
19. Durch starke elektrische Ströme wird das Protoplasma selbst befähigt, Wasser in seine eigenen Interstitien aufzunehmen; es quillt auf.
20. Die gleiche Eigenschaft gilt für die Chlorophyllkörner.
21. Wirken sehr starke Ströme eine zeitlang ein, so sondern sich feste Partikel aus dem Protoplasma aus; man kann sagen, das Protoplasma gerinnt.
22. In einigen Fällen bemerkt man bei Einfluss der Elektricität Kugelbildung des Protoplasma, ohne dass zunächst Wasseraufnahme ersichtlich ist; Ähnliches gilt auch für die Chlorophyllkörner.
23. Protoplasma und Chlorophyllkörner gehen durch elektrische Reize in den zähflüssigen Aggregatzustand über; einzelne Partien können dann, in dieses Stadium eingetreten zusammenfliessen.
24. Durch den galvanischen Strom wird die Rotation der Chlorophyllkörner bei Charenzellen nicht in demselben Masse alterirt, als wie die Protoplasmabewegungen, wodurch Rotationen derselben noch in Sicht kommen können, bei annähernd künstlich hervorgerufenem Stillstand der Protoplasmabewegung.
25. Bei ziemlich starken elektrischen Strömen wird die Rotation in mehreren Fällen für einen Augenblick in Circulation umgewandelt; die letztere ist aber eine scheinbare, weil sie tiefgreifende Veränderungen im Gefolge trägt.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

26. Bei starken elektrischen Strömen sammelt sich das Protoplasma vorzugsweise gern an der dem positiven und negativen Pole zugekehrten Zellwand in Form von Platten oder ellipsoidischen Körpern an. (Die Stromesstärken, welche eine Wanderung des Zelleninhaltes nach dem positiven Pol hervorrufen, übersteigen die Ströme, die hier als „sehr stark“ bezeichnet wurden. Alle die hier gewählten Ausdrücke „sehr schwach bis zu sehr stark“ sind nur relativ zu nehmen, mit Bezug auf lebendes oder scheinbar lebendiges Protoplasma.)

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Erklärung der Abbildungen.

Fig. 1. Elektrischer Objectträger.

Fig. 2. Protoplasmastücke von *Cucurbita Pepo*-Haarzellen.

a) Gefächertes Protoplasma mit verschieden geformten Kammern.

b) Ein dicker und ein feiner Protoplasmafaden. Man sieht nur langgezogene Wassercanäle. Bei *p* eine körnchenfreie Protoplasmapartie.

c) Vacuolenbildung nach elektrischer Reizung.

d) Anschwellung der Insuccationscanälchen, verursacht durch den elektrischen Strom, noch ehe es zur vollkommenen Vacuolenbildung kommt.

Fig. 3. *a. Vallisneria spiralis.* Epidermiszelle. Die Richtung der Pfeile deutet die Richtung des Plasmastromes an der Wand *b* und *c* an. Bei *s* eine örtliche Contusion.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Fig. 1.

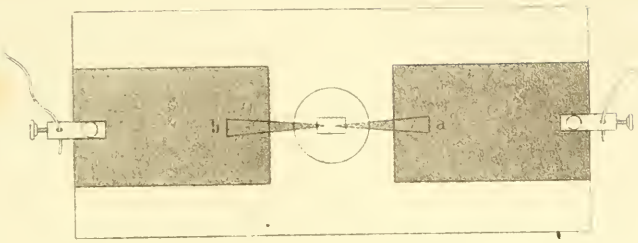

Fig. 2.
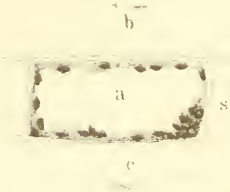
Fig. 3.